

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-073906

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

H01J 37/30
G01N 37/00
H01J 37/305
H01L 21/027

(21)Application number : 10-159632

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 08.06.1998

(72)Inventor : ISHIBASHI MASAYOSHI
HEIKE SEIJI
HASHIZUME TOMIHIRO
WADA YASUO
KAJIYAMA HIROSHI

(30)Priority

Priority number : 09151857
09166851Priority date : 10.06.1997
24.06.1997

Priority country : JP

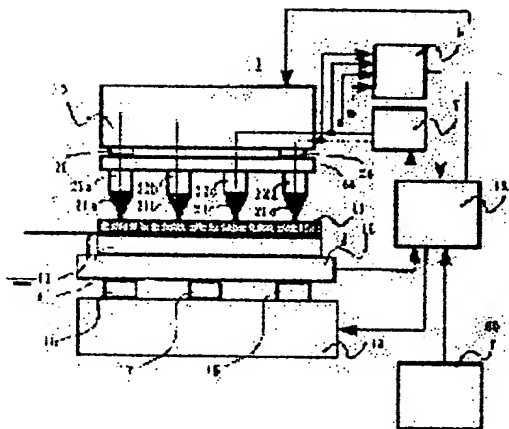
JP

(54) PLOTTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily manufacture a device capable of plotting at high speed by performing the position control of probes to a substrate only by the end part of a group of probes, and performing only the control of current to the other probes.

SOLUTION: Plotting is performed by applying a voltage corresponding to a drawing pattern given from a pattern input part 60 between probes 21c, 21d and a conductive layer 10 from a voltage applying part 7 under the control of a drive and emission control part 13, while a substrate is moved on XY plane by a moving stage 15. Thus, a current is carried to a resist layer 11 just under the probes 21c, 21d, and the resist molecule is reacted therewith to form a latent image within the resist layer 11. The applying voltage of the voltage applying part 7 is changed by the drive and an emission control part 13, so that the current detected as exposure (emitted current) by a current detecting part 6, or the corrected current of charge and discharge current by the probe-substrate electrostatic capacity is constant.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

01.10.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)3月16日

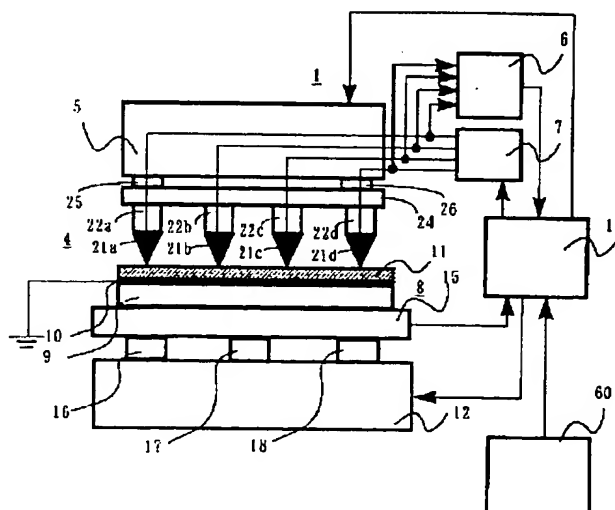
5 4 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数23 O.L (全 14 頁)

最終頁に続く

【解決手段】 集積化した探針を用い、探針と基板表面との距離の制御は端部の探針のみで行い、描画に使用する探針は探針に印加される電圧によるクーロン力によるカンチレバーの変形により追従させる。

1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の探針、前記複数の探針のそれぞれを保持する複数のバネ部、前記複数の探針のバネ部を一括して保持するホルダー、該ホルダーを移動させて前記探針と被描画対象であるレジスト層で表面が覆われた基板とを相対的に近づけるための粗動機構、前記複数の探針の端部にある探針と基板との傾きを補正するための移動機構、前記基板と複数の探針とを相対的に基板面上で X-Y 駆動するための駆動機構、前記各機構を制御するための制御装置、前記探針へ電流を供給する装置、前記探針へ供給される電流の検出手段、前記探針へ供給される電流の目標値と検出値とを一致させるための制御装置、前記各制御装置に対して描画のパターンに応じた目標値を与えるためのパターン入力装置を備える描画装置。

【請求項 2】前記複数の探針が一行に所定の間隔で配列されたものであり、これらの両端部にある探針が基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用され、他の探針が描画に使用される請求項 1 記載の描画装置。

【請求項 3】前記複数の探針が X-Y 平面に所定の間隔で配列されたものであり、これらの三つの端部にある探針が基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用され、他の探針が描画に使用される請求項 1 の描画装置。

【請求項 4】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が電流により検出されるものである請求項 2 の描画装置。

【請求項 5】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が光で式原子間力顕微鏡により検出されるものである請求項 2 の描画装置。

【請求項 6】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位がカンチレバーの背面に配置された電極とカンチレバーとの間の容量変化により検出されるものである請求項 2 の描画装置。

【請求項 7】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が電流により検出されるものである請求項 3 の描画装置。

【請求項 8】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が光で式原子間力顕微鏡により検出されるものである請求項 3 の描画装置。

【請求項 9】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位がカンチレバーの背面に配置された電極とカンチレバーとの間の容量変化により検出されるものである請求項 3 の描画装置。

【請求項 10】描画に使用される探針の電流が、潜像を作製する部分と作成しない部分とで異なった値とされる

請求項 2 の描画装置。

【請求項 11】描画に使用される探針の電流が、潜像を作製する部分と作成しない部分とで異なった値とされる請求項 3 の描画装置。

【請求項 12】一次元に配列された複数の探針、前記複数の探針のそれぞれを保持する複数のバネ部、前記複数の探針のバネ部を一括して保持するホルダー、該ホルダーを移動させて前記探針と被描画対象であるレジスト層で表面が覆われた基板とを相対的に近づけるための粗動機構、前記複数の探針の端部にある探針と基板との傾きを補正するための移動機構、前記基板を前記探針に対して回転駆動するための駆動機構、前記各機構を制御するための制御装置、前記探針へ電流を供給する装置、前記探針へ供給される電流の検出手段、前記探針へ供給される電流の目標値と検出値とを一致させるための制御装置、前記各制御装置に対して描画のパターンに応じた目標値を与えるためのパターン入力装置を備える描画装置。

【請求項 13】前記複数の探針の両端部にある探針が基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用され、他の探針が描画に使用される請求項 12 の描画装置。

【請求項 14】複数の探針、前記複数の探針のそれぞれを保持する複数のバネ部、前記複数の探針のバネ部を一括して保持するホルダー、該ホルダーを移動させて前記探針と被描画対象であるレジスト層で表面が覆われた基板とを相対的に近づけるための粗動機構、前記複数の探針の端部にある探針と基板との傾きを補正するための移動機構、前記基板と複数の探針とを相対的に基板面上で X-Y 駆動するための駆動機構、前記各機構を制御するための制御装置、前記探針へ電流を供給する装置、前記探針へ供給される電流の検出手段、前記探針へ供給される電流の目標値と検出値とを一致させるための制御装置、前記各制御装置に対して描画のパターンに応じた目標値を与えるためのパターン入力装置を備える描画装置であって、前記探針が 1 枚の基板上に形成された複数個の静電アクチュエータを備える電気-機械変換装置の可動部の先端に形成され、該アクチュエータは二つのアクチュエータの一つが他の一つのアクチュエータの可動電極に固定電極が連携して形成されたカスケード構造であるとともに、かつ、該二つのアクチュエータの内の一つは、直交する 2 軸の方向へ可動電極を駆動できるものである描画装置。

【請求項 15】前記複数の探針が一行に所定の間隔で配列されたものであり、これらの両端部にある探針が基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用され、他の探針が描画に使用される請求項 14 の描画装置。

【請求項 16】前記複数の探針が X-Y 平面に所定の間隔で配列されたものであり、これらの三つの端部にある探

針が基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用され、他の探針が描画に使用される請求項 1 4 の描画装置。

【請求項 1 7】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が電流により検出されるものである請求項 1 5 の描画装置。

【請求項 1 8】基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される探針の変位が電流により検出されるものである請求項 1 6 の描画装置。

【請求項 1 9】描画に使用される探針の電流が、潜像を作製する部分と作成しない部分とで異なった値とされる請求項 1 4 の描画装置。

【請求項 2 0】描画に使用される探針の電流が、潜像を作製する部分と作成しない部分とで異なった値とされる請求項 1 5 の描画装置。

【請求項 2 1】複数の探針、前記複数の探針のそれぞれを保持する複数のバネ部、前記複数の探針のバネ部を一括して保持するホルダー、該ホルダーを移動させて前記探針と被描画対象であるレジスト層で表面が覆われた基板とを相対的に近づけるための粗動機構、前記ホルダーと被描画対象であるレジスト層で表面が覆われた基板との間に挟まれた形で両者の相対位置を保持するためのスライダ、前記基板と複数の探針とを相対的に基板上で X-Y 駆動するための駆動機構、前記各機構を制御するための制御装置、前記探針へ電流を供給する装置、前記探針へ供給される電流の検出手段、前記探針へ供給される電流の目標値と検出値とを一致させるための制御装置、前記各制御装置に対して描画のパターンに応じた目標値を与えるためのパターン入力装置を備える描画装置。

【請求項 2 2】前記複数の探針が一行に所定の間隔で配列されたものであり、これらの探針のホルダーの両端部に設けられた電極と前記基板の導電体部分との間の静電容量が前記探針と前記基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される請求項 1 の描画装置。

【請求項 2 3】前記複数の探針が X-Y 平面に所定の間隔で配列されたものであり、これらの探針のホルダーの三端部に設けられた電極と前記基板の導電体部分との間の静電容量が前記探針と前記基板との傾き補正および描画中の探針と基板との距離の制御をするために使用される請求項 1 の描画装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工技術において用いられる描画装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体電子素子の高集積化、記録メディアの高密度化に伴い、極微細加工技術が必要とされている。しかし、電子素子では光リソグラフィーで使用する光の波長やレンズ材料により最小加工寸法が 100 nm 程度に限られ、また、記録メディアではレーザー原版の記録装置において解像度マージンの減少が予想されている。近年、これに代わる技術として、例えば、S. C. Minne et al., Fabrication of 0.1 μm metal oxide semiconductor field-effect transistor Appl. Phys. Lett. 66(6) 6 February 1995 pp. 703-705、あるいは Hyongsok T. Soh et al., Fabrication of 100nm pMOSFETs with Hybrid AFM/STM Lithography (1997 SYMPOSIUM ON VLSI TECHNOLOGY) に示されるような、走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工技術が注目されている。これは一般に探針と基板間に電圧を印加して加工を行う方法で、解像度が高く、原理的には原子レベルの加工も可能である。

【0003】さらに、米国特許 5,666,190 に開示されているように、複数のカンチレバーを備えたリソグラフィシステムも提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】走査プローブ顕微鏡を描画装置に用いる場合には、上記 USP 5,666,190 あるいは本件出願の親出願で提案したような集積化微細装置のように、複数の探針を同時に使用して走査スピードをあげることが有用である。しかし、一方では、この方法の場合、それぞれの探針に対し照射線量と基板-探針間の距離の 2 つを制御する必要があり、それらの駆動装置が必要となるだけでなく、それらすべてを統括的に制御する制御系も必要で、複雑な装置となっていた。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、描画の際、探針から基板に電流を照射するために印加する電圧により、各探針あるいは探針を保持するカンチレバーに働くクーロン力が、各探針を基板表面側に引き付けあるいはカンチレバーを変形させて各探針を基板表面に接触させるに十分な大きさを持つことに着目したものである。すなわち、描画の初期に、探針のグループに対して、基板に電流を照射することができる基板-探針間の距離を決めるためのラフな位置制御をおこなう。この場合、探針のグループの端部が適当な基板-探針間の距離を持つようにすればよい。そうすれば、すべての探針が探針のグループの製作に伴うあるばらつきの範囲で適当な基板-探針間の距離を持つことができる。一旦描画が開始された後は、この初期に位置決めされた状態が維持されるように、前記探針のグループの端部の基板-探針間の距離の監視と制御を行う。

【0006】換言すれば、本発明では、探針のグループの端部が描画開始時の適当な基板-探針間の距離を持つように維持されながら描画を行う。そうすると、各探針

は基板に照射する電流によってクーロン力を受け、自ずと基板表面の微細な変形には追従して変位する。したがって、描画中は、個々の探針についての基板-探針間の距離制御は行わないというものである。もちろん、探針から基板に照射する電流は、探針毎に独立して制御することは当然である。

【0007】

【発明の実施の形態】

実施例 1

本実施例では平板基板の平面方向に基板を移動して描画する場合の描画装置の実施例を図1と図2を用いて説明する。

【0008】図1は本発明の描画装置の第1の実施例構成概念を示すブロック図である。微細描画ヘッド部1は微細描画部4と傾き補正部5とから構成される。微細描画部4はカンチレバーとしての導電性のバネ部22a、22b、22c、22dとそれに接続された導電性の探針21a、21b、21c、21dおよびこれらを一括して保持するホルダー24とで構成される。ホルダー24はピエゾ素子25および26を介して傾き補正部5に結合される。補正部5は、ピエゾ素子25、26が結合される面の反対側が図示しない描画装置本体に保持される。また、補正部5は、後述する駆動及び照射制御部13から与えられる傾き補正信号に応じて、ピエゾ素子25、26のそれぞれに対して電圧を与え、両端部の探針21a、21dを結ぶ線が描画される基板8のレジスト層11の面に平行になるようにホルダ24の傾きを補正する。電圧印加部7は駆動及び照射制御部13から与えられる制御信号に応じて探針21a-21dに加える電圧を制御する。この場合、両端部の探針21a、21dを使用して傾きを補正する場合および探針21bおよび21cを使用して描画を行う場合とでは、それぞれに適した電圧となるように制御される。電流検出部6は探針からレジスト層11に照射される電流を検出するとともに、その検出力を駆動及び照射制御部13にフィードバックする。駆動及び照射制御部13では、傾き補正の場合には、両端部の探針21a、21dに適当な電圧を与えておき、それぞれの電流が等しくなるように、ピエゾ素子25、26のそれぞれに対して与える電圧を制御する。描画の場合には、パターン入力部60から与えられる描画パターン対応の制御信号に応じた電流になるように、探針21bおよび21cに電圧印加部7に加える電圧を制御する。ここで、レジスト層11に流れる電流についてみると、レジスト層11の絶縁性が高いときは電界放射電流であり、導電性があるときには、いわゆる電流

【0009】駆動及び照射制御部13は、パターン入力部60から与えられる制御信号に応じて、移動部12に移動信号を与える。移動部12は、一面が図示しない描

画装置本体に保持され、それと異なった面に前記移動信号に応じて移動ステージ15をX、Y、Z方向に移動させる駆動機構16、17および18を備える。この図では、駆動機構をX、Y、Zの3軸駆動という意味でブロック16、17および18で示したに止めたが、これは、例えば、ステッパ等任意の機構で使用されている構成のものが採用できる。移動ステージ15の変位は、例えば、レーザ干渉計等の高分解能の計測装置を用いて測定し、駆動及び照射制御部13にフィードバックし精密に制御する。基板8は移動ステージ15に取り付けられている。

【0010】移動部12は、描画に先行して、駆動及び照射制御部13から与えられる近接信号に応じて、Z軸駆動機構18によって探針21a-21dが描画される基板8のレジスト層11の面に対して所定の位置になるまで、移動ステージ15を移動させ、基板8のレジスト層11と探針21a-21dを接近させる。この際、探針21a-21dに適当な電圧を与えておき、いずれかの探針の検出電流が所定の値に達したとき、近接は停止される。

【0011】傾き補正がなされた後、移動ステージ15をX軸駆動機構16、Y軸駆動機構17によって、X-Y面で移動させ、基板8のレジスト層11にパターンを描く。パターンを描いている間、両端部の探針21a、21dを使用して、電流の大きさを監視してレジスト層11と探針間の距離が適切な値を維持するように、移動部12はZ軸方向の位置制御を継続するように駆動及び照射制御部13によって制御される。

【0012】基板8はガラス製の基板9、クロムを20nmから100nm蒸着した導電層10、約10nmから100nmの厚さのレジスト層11（例えば、ポリ（ビニルフェノール）とアジドの混合レジストであるネガ型レジスト（日立化成工業株式会社製RD2100N）を塗布した層）から成る。レジスト層11に使用するレジストはノボラック系フェノール樹脂と感光剤の混合レジスト、化学増幅系レジスト、ポリメタクリル酸メチルでもよい。基板9は例えばシリコン、ドーブしたシリコンなど加工したい任意の材料を使用することができる。基板9にドーブしたシリコンを使用する場合は基板9自身が導電性のため導電層10は省略しても良い。導電層10は電気的に接地し、探針に加えられる電圧によりレジスト層11に電流が流れるようにする。導電性の基板9の場合は基板9を直接接地すれば良い。

【0013】図2(a)は図1の描画装置のカンチレバーおよびその保持部を示す斜視図、図2(b)はカンチレバーの腹面側から見た平面図である。探針21a-21dはカンチレバーとしてのバネ部22a-22dの先端部に備えられ、バネ部22a-22dの一面には導電性の膜23a-23dが形成される。これらの導電膜は、図示しないコネクタを介して電圧印加部7および電流検

出部6に接続される。探針21a-22dおよびバネ部22a-22dはホルダ24に保持されるが、これらは、例えば、微細加工技術を用いてシリコン単結晶で、一体化されて作成される。これらは、また、酸化シリコン、窒化シリコンでも良い。ホルダ24のカンチレバーを設けていない面には、傾き補正およびアプローチのための移動を行うピエゾ素子25、26が設けられる。探針21の先端の曲率半径は10nmから100nm、バネ部22のバネ定数は0.05N/mから5N/m、共振周波数は10kHzから50kHzであることが適当である。これらのパラメータについてはさらに詳しいデータを後述する。

【0014】各探針21a-21dの基板8に対向する先端位置は、工作の精度にもよるが、50nm以下のばらつきの範囲に収めることが出来、実質的に同一線上にあるといえる。導電膜23は蒸着により作成した厚さ10nmから50nmのチタン薄膜で、これはチタンのほか、タングステン、モリブデン、炭化チタン、炭化タングステン、炭化モリブデン、導電性ダイヤモンドを用いても良い。

【0015】次に、図1、図2に示した描画装置を用いた描画の手順について、まとめて、説明する。描画は、第1段階として基板8の探針へのアプローチ、第2段階として探針の傾き補正、そして最後に描画の手順となる。

【0016】先にも述べたように、まず、基板8を移動ステージ12に取り付けた後、電圧印加部7で探針21a-21dに適当な電圧を印加し、これらの電流を電流検出部6で検出し、いずれかの探針の電流が所定の値となるまで、駆動及び照射制御部13の制御のもとで移動ステージ12をZ軸方向に移動させて、基板8を探針に接近させる。この際、電圧印加部7で両端部の探針21aおよび21dと基板8との間に印加する電圧Vを変化させ、そのとき流れる電流Iを電流検出部6で検出し、 $I/(dV/dt)$ によりその静電容量を算出して探針と基板との距離を見積もるものとしても良い。

【0017】ついで、両端部の両探針21a、21dの電流の差が無くなるように、駆動及び照射制御部13から傾き補正部5に信号を与え、ピエゾ素子25および26を制御して、これらの探針を結ぶ線と基板8平面との間の傾きをなくする制御を行う。あるいは、静電容量を算出して距離から傾きを見積もり、駆動及び照射制御部13から傾き補正部5に信号を与え、ピエゾ素子25および26を制御して、傾きを補正するものとしても良い。

【0018】各探針21a-21dと基板8との距離があらかじめ設定した値以下となり、傾きの補正が終わった後から描画の過程に移ることになる。この段階での各探針21a-21dと基板8との距離の設定値は10nmから1μmが適当である。

【0019】つぎに描画について説明する。描画は基板8を移動ステージ12でXY平面を移動させながら、探針21c、21dと導電層10との間にパターン入力部60から与えられる描画パターンに対応した電圧を駆動及び照射制御部13の制御の下で電圧印加部7から印加することにより行う。これにより、探針21c、21d直下のレジスト層11に電流が流れ、レジスト分子が反応してレジスト層11内に潜像が作製される。電圧印加部7の印加電圧を駆動及び照射制御部13により変化させて、照射線量（照射電流）として、電流検出部6で検出した電流、あるいは探針-基板間の静電容量による充放電電流を補正した電流が一定となるようにする。これは、いろんな形で制御できるが、具体例を列挙すると以下のようである。

【0020】(1) 電流Iを制御する場合は、(数1)で表される電圧値を出力する。

【0021】

【数1】

$$V(t) = G_i \int_0^t (I_s - I(t)) dt \quad (1)$$

【0022】ここで、 G_i は、フィードバックゲイン、 I_s は設定電流である。

【0023】(2) 電力 $P = IV$ を制御する場合は、(数2)で表される電圧値を出力する。

【0024】

【数2】

$$V(t) = G_p \int_0^t (P_s - I(t)V(t)) dt \quad (2)$$

【0025】ここで、 G_p はフィードバックゲイン、 P_s は設定電力である。

【0026】(3) 探針21a-21d及びばね部22a-22dと基板9との間に存在する静電容量Cを考慮するときは、電圧Vが変化すると、(数3)で表される充放電電流が流れる。

【0027】

【数3】

$$I_c(t) = C \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

【0028】から、これを考慮すると、(数1)で表される電流制御時の出力電圧は、

【0029】

【数4】

$$V(t) = G_i \int_0^t \left\{ I_s - \left(I(t) - C \frac{dV}{dt} \right) \right\} dt \quad (4)$$

【0030】となる。

【0031】また、(数2)で表される電力制御時の出力電圧は、

【0032】

【数5】

$$V(t) = G_p \int_0^t \left\{ P_s - \left(I(t) - C \frac{dV}{dt} \right) V(t) \right\} dt \quad (5)$$

【0033】となる。

【0034】(4)さらに、電流検出部6及び駆動及び照射制御部13が構成する帰還制御系は時定数 τ を持っており、高周波成分は除去される。充放電電流 I_c に対してもこれがフィルタとして働き、 I_c の影響を正確に除去するためには、時定数 τ を考慮して、(数4)は

$$V(t) = G_p \int_0^t \left\{ P_s - \left(I(t) - \frac{C}{\tau} \int_0^t \frac{dV}{dt'} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' \right) V(t) \right\} dt \quad (7)$$

【0038】となる。

【0039】本実施例では、100nmの厚さの前記レジストRD2100Nをコートした基板8を0.1mm/sで移動させ、探針21c、21dと導電層10との間に印加する電圧が-85V付近で電流が100pAになるように、すなわち照射線量が10nC/cmとなるようにした。

【0040】レジスト層11に潜像作成中は、探針21b、21cは潜像を作成するために印加した電圧によって各探針21b、21c-導電層10間に働くクーロン力を受ける。このクーロン力により、各バネ部22b、22cが変形し、各探針はレジスト層11に接触している。潜像は作成しようとするパターンに応じて形成しない部分もある。潜像を形成しない部分では電流が必要ないから、この位置では探針に電圧を印加する必要はない。しかし、電圧を0Vにすると探針に作用していたクーロン力が無くなるから、各バネ部22b、22cの変形がなくなり、レジスト層11表面から離れてしまう。そうすると、潜像を形成すべき位置で再び電圧を印加した際、探針にクーロン力が突然作用して各バネ部22b、22cが急に変形することになり、そのため探針がレジスト層11に激しくぶつかり探針が破損する可能性が高くなる。そのため、潜像を作製しない部分を描画する際は、潜像が形成されないほどの小さい電流が流れるように電圧を制御するのがよい。本実施例では印加電圧を-70V以下にすると電流は1pA以下になり潜像は形成されなかった。一方、両端部の探針による位置監視の電流は、この程度以下で行うのが当然であるが、各バネ部22a、22dがクーロン力による変形を出来るだけ受けないように、より小さい電流を流すにすぎない電圧とするのが良いわけである。

【0041】本発明によって描画された潜像を現像することについて簡単に説明しておく以下のようなものである。

【0042】0.83%の水酸化テトラメチルアンモニウム溶液に1分間浸漬することにより現像する。その結果、レジスト層11にネガ型のレジストを使用した場合は潜像を作製したレジストだけ溶解せずに残り、線幅100nmの凸型の線レジストパターンを作製することが

【0035】

【数6】

$$V(t) = G_i \int_0^t \left\{ I_s - \left(I(t) - \frac{C}{\tau} \int_0^t \frac{dV}{dt'} e^{-\frac{t-t'}{\tau}} dt' \right) \right\} dt \quad (6)$$

【0036】となり、(数5)は、

【0037】

【数7】

できる。レジスト層11にポジ型のレジストを使用した場合は潜像を作製したレジストだけ溶解して、線幅100nmの凹型の線レジストパターンを作製することができた。図6は本発明の実施例におけるパターン幅と照射線量の関係を示し、パターン幅が照射線量に依存するため、照射線量を調節することにより100nm以上の任意のパターン幅を作製することができることを示す。

【0043】本発明では、描画は、第1段階として基板8の探針へのアプローチ、第2段階として探針の傾き補正、そして最後に描画の手順となる。そして、多くの探針の内、端部にある探針を位置決めおよび描画中の位置の監視に使用し、他の探針を描画に使用することにより、描画に使用する探針は単に電流制御のみを行えば良い。しかも、本発明は、潜像を形成するときは探針がクーロン力により変形することにより、厳密な位置制御をしなくても電流制御のみで描画が出来ることに着目した点において有用な手法を提供することが出来た。前記実施例の説明では、探針は4つだけで少ないが、これが多くなればなるほど、本発明のメリットは大きくなる。なお、上述の実施例では、基板8と探針のアプローチは基板8をZ軸方向に動かすものとしたが、探針を保持しているホルダー24のピエゾ素子25、26をこのアプローチのために使用することも出来る。

【0044】実施例II

図3(a)は本発明の描画装置のカンチレバーおよびその保持部の他の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、図3(b)はその側面図である。図3(a)および図3(b)を図2(a)および図2(b)と対比して分かるように、31a、31b---31k---31n、32a---32m---3jmの多数のばね部を持つ探針部30とした例である。これらのばね部はそれぞれ、ホルダー34a、34b、34cおよび34dに保持されており、それぞれのホルダーは共通ホルダー35によって保持される。各探針の導電線が33で代表して示されるが、これらは、図示しないコネクタで導出されて、必要な接続が行われるものとされる。共通ホルダー35の背面には、図3(b)に示すように、図2(a)で示すピエゾ素子25、26に対応するピエゾ素子36a-36cが

設けられる。図では、ピエゾ素子 36a は見えていない。ピエゾ素子 36a、36b は探針 31a、31n を使って図の X 方向の傾き制御に使用され、ピエゾ素子 36b、36c は探針 31n、31m を使って図の Y 方向の傾き制御に使用される。

実施例 III

図 4(a) は本発明に採用できる集積化した探針駆動装置群およびその保持部の実施例を示す斜視図、図 4(b) はその単位の探針駆動装置の構造を示す断面図である。

【0045】図 4(a) は、図 4(b) に示す探針駆動装置 420 を多数 XY 二次元に配置して粗動機構 410 により保持して探針の位置を制御できるようにした実施例の構成を示す概念図である。図 3(a)、(b) の各探針および各ばね部に対応する多数の探針駆動装置 420 が XY 二次元に配置されている。そして図 3(a)、(b) の共通ホルダー 35 およびピエゾ素子 36a-36c に対応する粗動機構 410 により探針駆動装置 420 の群を保持して探針の位置を制御できるようにした構成を示す。

【0046】このようにすれば、粗動機構 410 によってアプローチおよび傾き補正のみならず、描画のための XY 二次元駆動も可能となる。勿論、前述の実施例のように、それぞれの機能を分割して負担させて良いのは当然である。

【0047】本実施例における粗動機構 410 の構成については詳細な説明を省略するが、図 4(b) に示す探針駆動装置 420 の作成と同様に微細加工による工夫、さらにはピエゾ素子との組み合わせを工夫すれば、容易に作成することが出来る。逆に、図 2(a) に示したような単なるホルダーとピエゾ素子との組み合わせとしても良い。

【0048】以下、探針駆動装置 420 の例を図 4(b) によって説明する。図 4(b) は探針駆動装置 420 の構造の一例を開示するブロック図である。この実施例では、第一の集積化静電アクチュエータ 2100 と、第二の集積化静電アクチュエータ 2500 がカスケードに接続されたものとされている。すなわち、第一のアクチュエータ 2100 の可動電極 210 に第二のアクチュエータ 2500 の固定電極 270 が接続され、第二のアクチュエータ 2500 の可動電極 250 の延伸部先端に探針 220 が備えられる。また、本実施例の第一の集積化静電アクチュエータは、一つのアクチュエータで、X 方向、Y 方向の駆動ができるものとされる。したがって、第一のアクチュエータ 2100 により X 方向、および Y 方向、第二のアクチュエータ 2500 により Z 方向のそれぞれの動きを制御するものである。

【0049】基部 230 の先端部にアクチュエータ 2100 の固定電極 211 が形成され、やはり基部 230 の先端部には板バネ 241 とこれを連結する連結部 242 よりなるバネ 240 が形成される。バネ 240 の連結部

242 にはアクチュエータ 2100 の可動電極 210 が結合される。アクチュエータ 2100 の固定電極 211 の他端部は基部端部 232 に連結され、ここに板バネ 241' とこれを連結する連結部 242' よりなるバネ 240' が形成される。バネ 240' の連結部にはアクチュエータ 2100 の可動電極 210 が結合されるとともに Z 駆動軸部 270 が連結される。アクチュエータ 2100 の固定電極 211 と可動電極 210 との間に作用する駆動力は、それぞれ、ばね 240、240' をたわませるので、Z 駆動軸部 270 はアクチュエータ 2100 による駆動力に応じた X 方向（紙面と平行で左右方向）、Y 方向（紙面と垂直）の位置を取る。

【0050】Z 駆動軸部 270 を、上述の基部 230 とする形で Z 駆動軸部 270 の先端部に集積化静電アクチュエータ 2500 を形成する。すなわち、Z 駆動軸部 270 と一体構成の枠部 270' に支持された固定電極 251 が形成され、同じく枠部 270' を固定部分とする板バネ 261 とこれを連結する連結部 262 よりなるバネ 260 および板バネ 261' とこれを連結する連結部 262' よりなるバネ 260' が形成される。バネ 260 の連結部 263 およびバネ 260' の連結部 263' には先端に探針 220 が取り付けられる探針支持部 280 が結合されるとともに、探針支持部 280 にアクチュエータ 2500 の可動電極 250 が結合される。アクチュエータ 2500 の固定電極 251 と可動電極 250 との間に作用する駆動力は、それぞれ、ばね 260、260' をたわませるので、探針支持部 280 は Z 方向（紙面と平行で上下方向）の位置を取る。本実施例では、Z 駆動軸部 270 がアクチュエータ 2100 により X 方向、Y 方向の制御をなされ、この状態で、探針が Z 方向の制御をなされる。

【0051】図の実施例では、図の表示を簡略化するため、各電極への配線および探針に印加するべき電圧の配線、さらには、絶縁の要否についての説明を省略したが、これらについては、必要に応じて任意の構成で実現出来ることであるので、これ以上の説明は省略する。

【0052】この図 4(b) の実施例では、この構造を、1 枚の基板を基礎として半導体微細加工技術により二次元に並列して配置して集積化することが出来、しかも基部 230 および基部端部 232 は、基礎となる 1 枚の基板上に直接付いていて良く、その他の部分が半導体微細加工技術により処理され基板から離された形で集積化静電アクチュエータを持つ集積化探針駆動装置を構成することになる。したがって、1 チップ上に、二次元に並列して配置した集積化探針駆動装置とすることが極めて容易である。

【0053】本実施例の 1 チップ上に二次元に並列して配置した集積化探針駆動装置の構造を、複数枚積層して、二次元に配置した集積化探針駆動装置を構成することも容易である。

【0054】本発明では、多数の探針駆動装置420は、全体としてのアプローチ、傾き補正および描画中の位置制御が行われれば足りるから、多数の探針駆動装置の個々の探針220の位置を制御することは、本質的に必要ではない。しかし、これが出来ることは、部分的な描画の修正等を考えれば、有用である。

【0055】実施例 IV

次に、基板を回転させて描画するための描画装置とした実施例を図5を参照して説明する。本実施例は、図1に示した実施例の描画装置と本質的に変わるところはないが、基板8を回転させるものとし、これに応じて、微細描画ヘッド部1を基板8の片側に寄せて配置したものである。両実施例で共通するものは同じ参照符号で示した。図1に示した実施例の移動部12は回転駆動部61に、移動ステージ15は回転ステージ65に、X、Y、Z方向に移動させる駆動機構16、17および18は回転軸66に、それぞれ置換される。駆動及び照射制御部13が、パターン入力部60から与えられる制御信号に応じて、回転駆動部61に回転信号を与える。この回転は回転軸66を介して回転ステージ65を回転させ、この回転に関する情報は駆動及び照射制御部13にフィードバックし精密に制御する。

【0056】本実施例でも、描画に先行して、近接操作が行われるが、この操作は駆動及び照射制御部13が回転駆動部61に与える信号に応じて、回転軸66を上方に移動（Z軸駆動）させる。探針21a-21dが描画される基板8のレジスト層11の面に対して所定の位置になるまで、回転ステージ65を移動させると近接は完了である。その後、傾き補正を行い、続いて、回転ステージ65を回転させるとともに基板8のレジスト層11にパターンを描く。パターンを描いている間、両端部の探針21a、21dを使用して、電流の大きさを監視してレジスト層11と探針間の距離が適切な値を維持するように、回転駆動部61はZ軸方向の位置制御を継続するように駆動及び照射制御部13によって制御される。さらに、この実施例では、図1に示した実施例に比し、描画中も回転による傾きを補正部5によって補正する操作が頻繁に必要になると思われるが、両端部の探針による位置監視により支障無く実行できる。

【0057】本実施例では、基板8に比し、微細描画ヘッド部1は相対的に小さいから、基板回転ステージ65で基板8を360度回転した後に現像すると、例えば、光ディスクの案内溝に使用できる真円状のレジストパターンが作製できる。また、一定照射線量を照射し続けながら微細描画ヘッド部1をある点を中心として回転中心方向に左右に移動させながら基板回転ステージ65で基板8を360度回転した後に現像すると波形のレジストパターンが円状に作製できる。あるいは、照射線量を、潜像が形成できる照射線量と潜像が形成できない照射線量を切り替えながら微細描画ヘッド部1を固定して基板回

転ステージ65で基板8を360度回転した後に現像した場合は光ディスクのデータ情報、アドレス情報に使用できるドットパターンが円状に作製できる。この動作をつづけ基板8全域にパターンを描画すると、探針を0.1mmピッチで並べ、トラックピッチを100nmとし、回転速度を毎時50回転で20時間で全領域にパターンを描画できる。

【0058】以上示した方法を組み合わせることにより光ディスクの原版を作製できる。さらに、ディスク全面に凹型ドットレジストパターンを作製し、導電層10を電極として電界メッキによりドットパターンの中に例えば鉄、コバルト、ニッケル、鉄-コバルト合金、コバルト-ニッケル合金、鉄-ニッケル合金などの磁性体を埋め込めば、磁性ドットを孤立化させた記録ビットとした超高密度磁気記録媒体を作製できる。

【0059】実施例 V

次に、図7は図2(a)に示すカンチレバーおよびその保持部の異なった実施例を示す斜視図である。

【0060】本実施例は、両端部のカンチレバー22aおよび22dの変位の検出を光てこ式の原子間力顕微鏡によるものとした例である。83、81は光源であり、84、82は受光装置である。光てこ式の原子間力顕微鏡は、探針21aおよび21dと基板8との間に電流を流す必要が無いから、探針21に電圧を加える必要が無い。したがって、ばね部が探針21aおよび21dに加える電圧によるクーロン力を受けて変形することがない。このため、両端部の探針による位置監視のために光てこ式の原子間力顕微鏡を使用するときは、安定した位置制御及び傾き制御が実現できることになる。

【0061】実施例 VI

図8(a)は図3(a)に示すカンチレバーおよびその保持部の変形の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、図8(b)はその側面図、図9はその背面図である。

【0062】本実施例では、図3(a)と図8(a)、図3(b)と図8(b)とを対比してよく分かるように、ホルダー34a-34dをカンチレバーの各列毎に34a'、34a'-34d'、34d'の二つに分割するとともにカンチレバーをホルダーに対して傾きを持たせ、この向きを同じものとした。さらに、図7の実施例と同様に、端部のカンチレバー31a、31nおよび3j mの変位の検出を光てこ式の原子間力顕微鏡によるものとした例である。91、93および95は光源であり、92、94および96は受光装置である。本実施例では、カンチレバーを同じ傾きの向きを持つものとしたから、基板8を移動させるとき、レジスト11の面が持つ凹凸に対して、カンチレバーのばね部が効果的に作用して探針の損傷する可能性を低減できる効果がある。また変位の検出を光てこ式の原子間力顕微鏡としたから、先の実施例と同様に、安定した位置制御及び傾き制

御が実現できる効果もある。なお、本実施例では、図9を参照して明らかなように、探針3 j mの変位を検出するための光で式式の原子間力顕微鏡の光の透過のためにホルダー35の一部はカットされて光が通るようにされなければならない。

【0063】実施例 VII

図10 (a) は図3 (a)に示すカンチレバーおよびその保持部の変形の他の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、図10 (b) はその側面図である。

【0064】本実施例では、図8 (a) と図10

(a)、図8 (b) と図10 (b) とを対比してよく分かるように、探針部30と基板8の近接および位置監視を端部のカンチレバー31 a、31 nおよび3 j mの変位の光で式式の原子間力顕微鏡による検出に代えて、ホルダー35のカンチレバー側の面の3個所に電極41、42および43を設けて、この電極と基板の導電体部分との間の容量検出により行うようにした例である。

【0065】本実施例では、基板が移動ステージ15にセットされた段階では、実質的に容量検出はできないが、近接が進んである程度接近すると容量検出は可能になるから、これを利用して近接を完了できる。また、描画中の位置監視もこれで行うことができる。

【0066】実施例VIII

図11 (a) は図3 (a)に示すカンチレバーおよびその保持部の変形の他の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、図11 (b) はその側面図である。

【0067】本実施例では、図8 (a) と図11

(a)、図8 (b) と図10 (b) とを対比してよく分かるように、探針部30と基板8との位置関係を両者の間に介在させるスライダ51、52、53および54によって直接保持するものである。これらのスライダが基板8と弱い力で接触した状態を維持するために、ホルダー35の背面の四つの角に弱いばね装置55、56、57および58 (57、58は図示しない) を設ける。

【0068】本実施例では、基板8が移動ステージ15にセットされた後、近接の段階で、弱い力でホルダー35を基板8に押し付ける。その後はその状態を維持するようにすれば、描画中の位置制御を特に行う必要はない。

【0069】実施例IX

図12 (a) は図3 (a)に示すカンチレバーおよびその保持部の変形の他の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図である。図12 (b) は、ばね部が形成されていない領域の位置a-a'で矢印方向に見た断面図、図12 (c) は、ばね部が形成されている領域でばね部が在る位置b-b'で矢印方向に見た断面図および図12 (d) は、ばね部が形成されている領域でばね部が無い位置c-c'で矢印方向に見た断面図である。

【0070】本実施例では、図3 (a)および図3 (b)で説明した多数のばね部31 a、31 b-----31 k---31 n、32 a---32 m---3 j mを共通ホルダー35に直接作り付けた探針部30とした例である。すなわち、これらのばね部は共通ホルダー35を削って薄くした領域に形成するとともに、各ばね部が独立するように切り欠きで区分されたものとされる。図12において31 b、31 iおよび31 sはそれぞれ探針を、33は各探針の引き出し線を代表して示す。51~54は図11に示す実施例VIIIのスライダに、55~58 (57、58は図示しない) は弱いばね装置にそれぞれ対応する。本実施例でも、実施例VIIIと同様、これらのスライダと弱いばね装置によって探針と基板8とが弱い力で接触した状態を維持する。

【0071】図12 (c) と図12 (d) と対照して明らかなように、ばね部が形成されている領域では共通ホルダー35は削られて薄板状態となっており、この領域においてばね部が無い位置では共通ホルダー35は切り欠かれている。したがって、十分なばね定数を有するばね部を形成することができ、探針に電流を流すと必要な変形は十分得られる。

【0072】また、本実施例でも、基板8が移動ステージ15にセットされた後、近接の段階で、弱い力でホルダー35を基板8に押し付ける。その後はその状態を維持するようにすれば、描画中の位置制御を特に行う必要がないことは実施例VIIIと同様である。

【0073】カンチレバーのパラメータの例

図13 (a) はカンチレバーのクーロン力による変位を説明するためのカンチレバーのパラメータの例を示す平面図、図13 (b) はその側面図である。この例に示すカンチレバーは、その幅がW、長さがL、厚さがtであり、探針の長さL' が10ないし15 μm程度のものである。この例で図1の導電層10とカンチレバー22との間に構成される平行平板コンデンサーによってクーロン力をラフに計算した。

【0074】まず、平行平板コンデンサーの電極板間に作用する力Fは次(数8)で示される。ただし、ε₀は電極板間に存在する誘電体の誘電率、Sは電極板の面積、Vは電極板間の電圧、dは電極板間の距離である。

【0075】

【数8】

$$F = \epsilon_0 \frac{SV^2}{2d^2} \quad (8)$$

【0076】いま、カンチレバーをばね定数の異なるA-Cの三サンプルを用意したが、そのパラメータは次のようである。

【0077】

【表1】

表 1

サンプル	幅 $W \mu m$	長さ $L \mu m$	厚さ $t \mu m$	ばね定数 CN/m
A	50	450	2.0	0.1
B	60	450	4.0	2.0
C	30	225	5.0	20.0

【0078】ここで、探針を保持しているカンチレバーの面積を S としてカンチレバーに作用するクーロン力について計算した結果を下表に示す。

【0079】

【表 2】

表 2

カンチレバーの面積 S	電極板間の距離 d	電極板間の電圧 V	クーロン力 F
$50 \mu m \times 450 \mu m$	$16 \mu m$	40V	630 nN

【0080】いま、上記クーロン力が 630 nN の例に着目して、上記サンプルの変形量を計算した結果は下表の通りである。

【0081】

【表 3】

表 3

サンプル	変形量 nm
A	6300
B	315
C	32

【0082】この例でも分かるように、電圧が 40 V の場合ですら、このように大きな力と変形が生ずるから、上述した描画に際して -80 V を加える場合には、カンチレバーには大きな変形が生じ、描画のためのカンチレバーの位置制御は意味が無く、逆に、この変形が、レジスト層 11 の厚さの不均一性に対して、カンチレバーが安定に追従することになる。本発明の重要な着目点はここにあるのである。

【0083】つぎに、図 14 (a) はカンチレバーのクーロン力による変位を説明するためのカンチレバーの他のパラメータの例を示す平面図、図 14 (b) はその側面図である。この例に示すカンチレバーは二点支持の梁であり、いま、先端部の幅 W を $4 \mu m$ 、厚さ t を $0.4 \mu m$ 、長さ L が $200 \mu m$ および $100 \mu m$ 、ばね定数が 0.02 および 0.09 、探針の長さ L' が $6 \mu m$ 程度の二例について計算した。この二例は先端部の構造および形状は同じであり、長さ L のみを異にする。この例で $L = 100 \mu m$ 、探針のカンチレバーの面での面積を $3100 \mu m^2$ 、電極板間の距離 d を $6 \mu m$ とし、加えた電圧を 40 V としたとき、クーロン力は 610 nN であった。このカンチレバーはこの程度の力があれば、図 13 のカンチレバーと同様 6800 nm 程度の変形を生ずる。したがって、このタイプのカンチレバーでも変形が十分に利用できるものとなる。

【0084】図 4 (a)、図 4 (b) に示した探針駆動装置

はこれらの例のように、カンチレバーが無く、平行平板コンデンサーを構成するものではないが、ばね 261, 261' が極めて柔らかいから、探針に作用するクーロン力が十分利用できる。

【0085】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、基板に対する探針の位置制御は探針のグループの端部でのみ行い、他の探針は電流の制御のみが行われれば良いから、高速に描画できる描画装置を容易に作成することができる。

【0086】また、近接および傾きの制御は、厳密なものである必要はないから、最も簡単な構造としては、図 10、図 11 あるいは図 12 に示す程度の構造で良い。また、図示は省略するが、カンチレバーの背面に電極を配置して両者の間の容量変化によりカンチレバーの変位を検出するタイプのものとすることも出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の描画装置の実施例構成概念を示すブロック図。

【図 2】(a) は図 1 の描画装置のカンチレバーおよびその保持部を示す斜視図、(b) はカンチレバーの腹面側から見た平面図。

【図 3】(a) は本発明の描画装置のカンチレバーおよびその保持部の他の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、(b) はその側面図。

【図 4】(a) は本発明に採用できる集積化した探針駆動装置群およびその保持部の実施例を示す斜視図、(b) はその単位の探針駆動装置の構造を示す断面図。

【図 5】本発明の描画装置の他の実施例構成概念を示すブロック図。

【図 6】本発明の描画装置において探針から照射した電流の照射線量と基板の線幅との関係の一例を示す図。

【図 7】図 2 (a) に示すカンチレバーおよびその保持部の異なった実施例を示す斜視図。

【図 8】(a) は図 3 (a) に示すカンチレバーおよびその保持部の変形の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図。

ら見た平面図、(b)はその側面図。

【図9】図8に示すカンチレバーおよびその保持部の実施例の背面図。

【図10】(a)は図3(a)に示すカンチレバーおよびその保持部の他の変形の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、(b)はその側面図。

【図11】(a)は図3(a)に示すカンチレバーおよびその保持部の他の変形の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、(b)はその側面図。

【図12】(a)は図3(a)に示すカンチレバーおよびその保持部の他の変形の実施例を示すカンチレバーの腹面側から見た平面図、(b)は、ばね部が形成されていない領域の位置a-a'で矢印方向に見た断面図、

(c)は、ばね部が形成されている領域でばね部が在る位置b-b'で矢印方向に見た断面図および(d)は、ばね部が形成されている領域でばね部が無い位置c-c'で矢印方向に見た断面図。

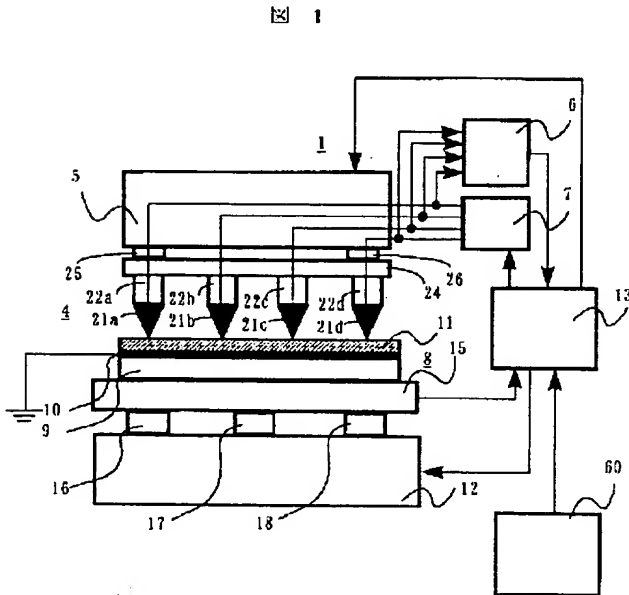
【図13】(a)はカンチレバーのクーロン力による変位を説明するためのカンチレバーのパラメータの例を示す平面図、(b)はその側面図。

【図14】(a)はカンチレバーのクーロン力による変位を説明するためのカンチレバーの他のパラメータの例を示す平面図、(b)はその側面図。

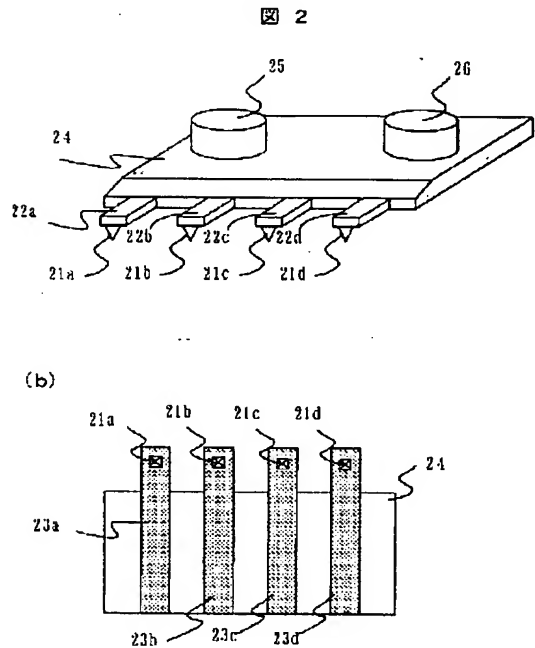
【符号の説明】

1…微細描画ヘッド部、4…微細描画部、5…傾き補正部、6…電流検出部、7…電圧印加部、8…基板、9…ガラス製の基板、10…導電層10、11…レジスト層、12…移動部、13…駆動及び照射制御部、15…移動ステージ15、16…X軸駆動機構、17…Y軸駆動機構、18…Z軸駆動機構、21a、21b、21c、21d…導電性の探針、22a、22b、22c、22d…導電性のバネ部、23a-23d…導電性の膜、24…ホルダー、25、26…ピエゾ素子、30…微細描画部、31a、31b---31k---31n、32a---32m---3j m…ばね部、33…探針の導電線、34a、34b、34cおよび34d…ホルダー、35…共通ホルダー、36a-36c…ピエゾ素子、41、42および43…電極、51、52、53および54…スライダ、55、56、57および58…弱いばね装置、60…パターン入力部、61…回転駆動部、65…回転ステージ、66…回転軸、83、81…光源、82、84…受光装置、91、93および95…光源、92、94および96…受光装置、220…探針、410…粗動機構、420…探針駆動装置、2100…第一の集積化静電アクチュエータ、2500…第二の集積化静電アクチュエータ。

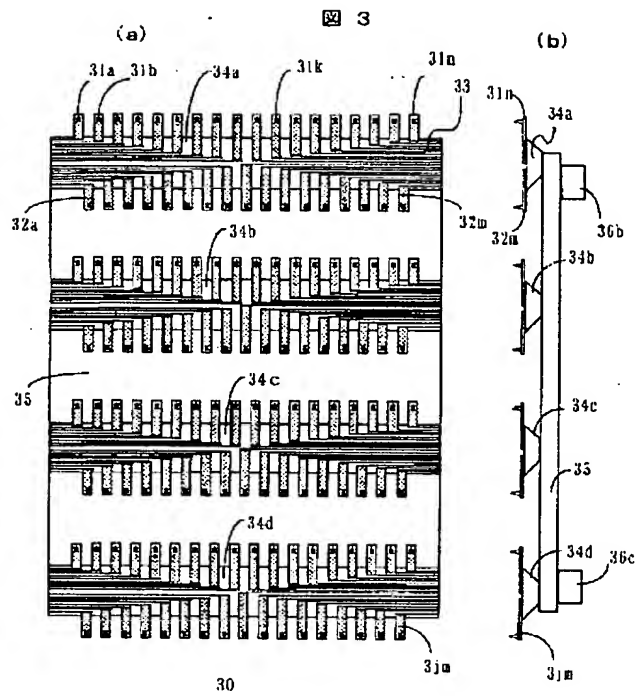
【図1】



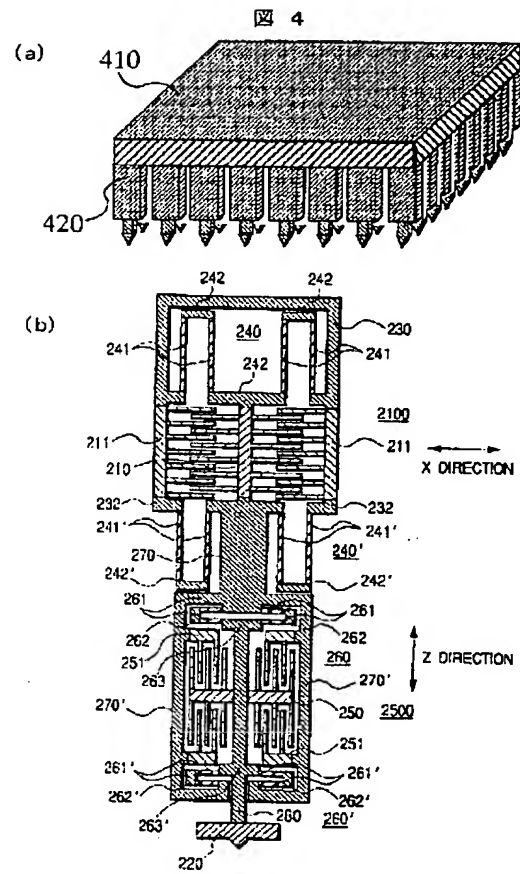
【図2】



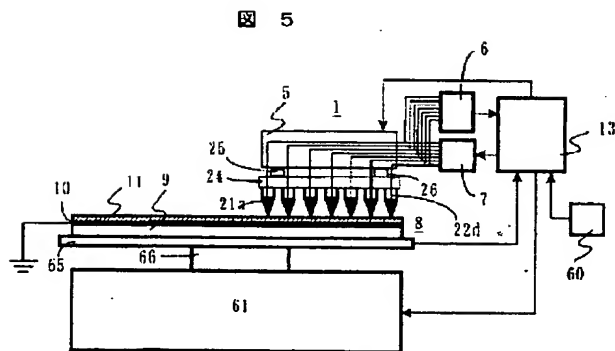
【図 3】



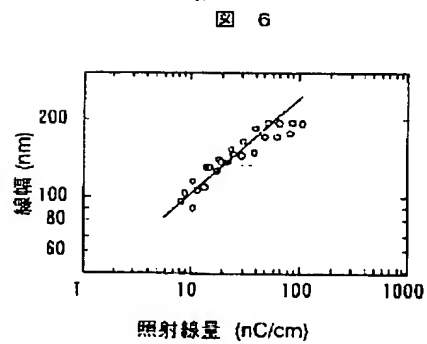
【図 4】



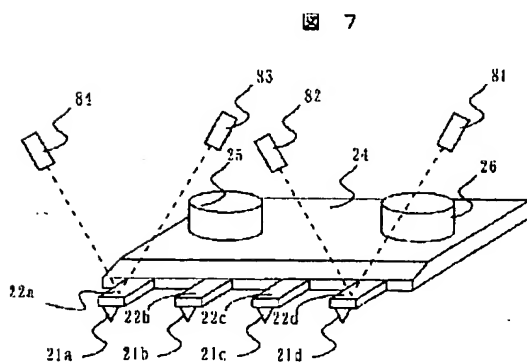
【図5】



【図 6】

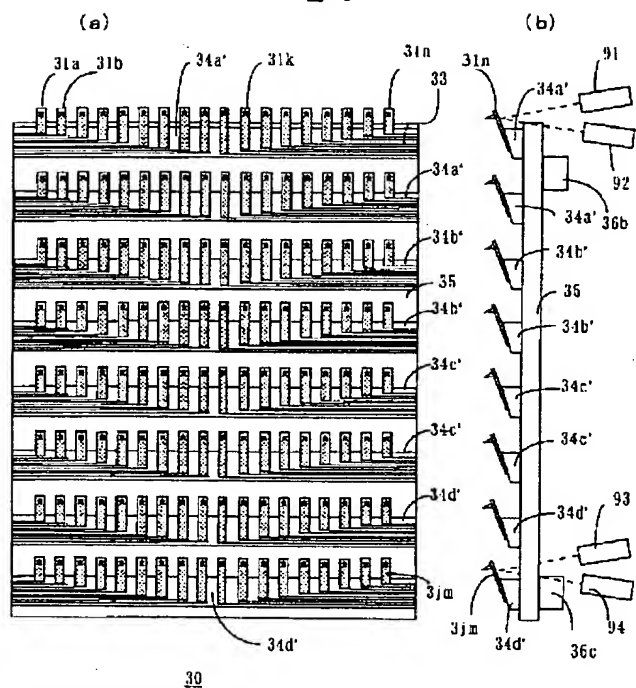


【圖 7】



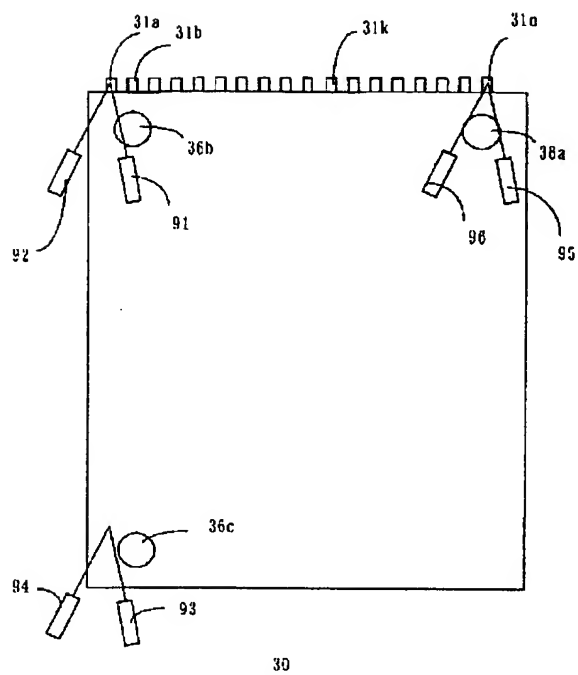
【図 8】

図 8



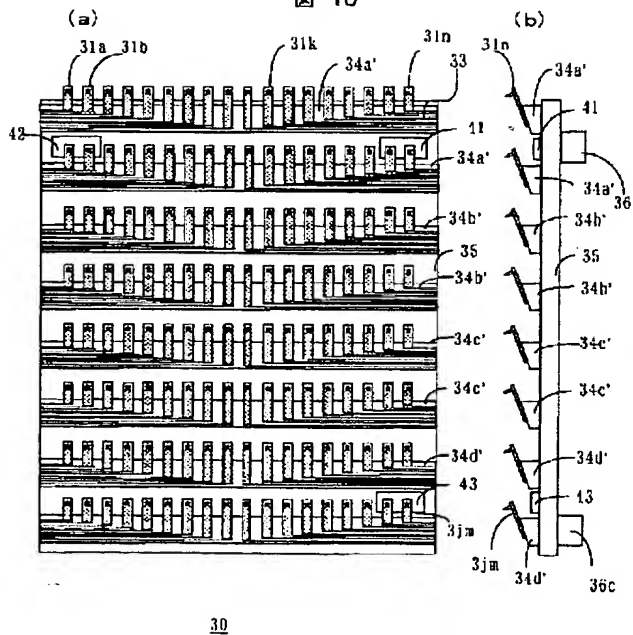
【図 9】

図 9



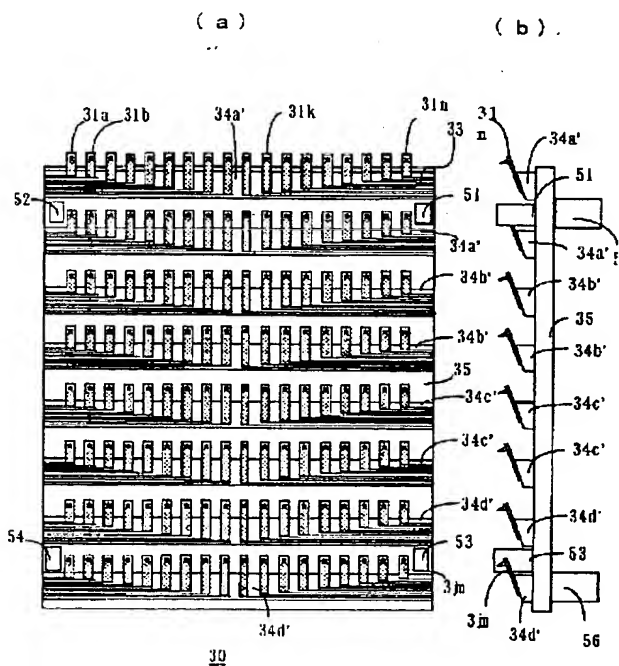
【図 10】

図 10



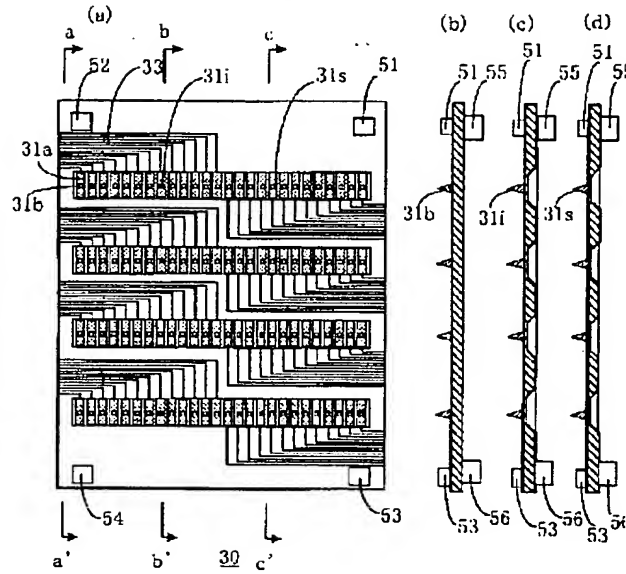
【図 11】

図 11



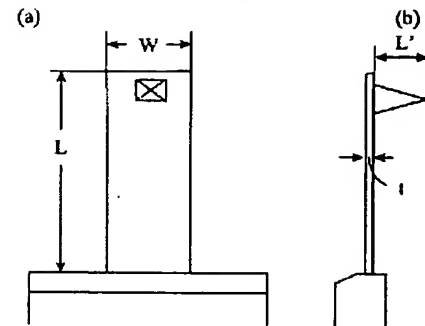
【図 1 2】

図 12



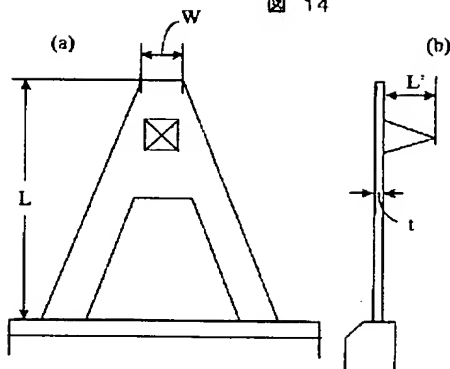
【図 1 3】

図 13



【図 1 4】

図 14



フロントページの続き

(72)発明者 和田 恭雄
埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内

(72)発明者 梶山 博司
埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内